



Doctoral Thesis

Emission & concentration implications of long-term climate targets

Author(s):

Meinshausen, Malte

Publication Date:

2005

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004960367> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 15946

EMISSION & CONCENTRATION IMPLICATIONS
OF LONG-TERM CLIMATE TARGETS

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by
MALTE MEINSHAUSEN

M.Sc, University of Oxford
Dipl. Umwelt-Natw., ETH Zurich

born 06.Oct.1974

citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dieter Imboden, examiner
Prof. Christoph Schär, co-examiner
Dr. Michel den Elzen, co-examiner

2005

SUMMARY

Long-term climate targets to prevent dangerous climate change, like the limitation of global-mean warming to 2°C above pre-industrial levels, need to be translated into greenhouse gas concentration and emission implications in order to guide policy implementation. This is the guiding theme for this PhD thesis and might provide helpful scientific assistance for informed decision making on mitigation.

The work is based on an analysis of the warming that we are already committed to. As throughout the rest of the dissertation, applying a simple upwelling diffusion energy balance model (MAGICC 4.1) in combination with literature-based climate sensitivity probability distributions is the main research method. Four different warming commitments are distinguished. Firstly, a ‘constant emission’ warming commitment is shown to overshoot 2°C with high probability, with a central estimate of 4.2°C warming up to 2400. Secondly, a ‘present forcing’ warming commitment is unlikely to lead to an overshooting of 2°C. However, the likelihood of overshooting 2°C warming is quickly increasing, with higher stabilization levels of radiative forcing. Thirdly, from a geophysical point of view, if all human-induced emissions were ceased tomorrow, it seems ‘exceptionally unlikely’ that 2°C will be overshoot (central estimate: 0.7°C by 2100; 0.4°C by 2400). Probably the most policy relevant of the four, the ‘feasible scenario’ warming commitment, assumes future emissions according to the lower end of published mitigation scenarios (stabilization at 350ppm to 450ppm CO₂ equivalent). The central temperature projections for this warming commitment are 1.5°C to 2.1°C by 2100 (1.5°C to 2.0°C by 2400) with a probability of overshooting 2°C between 10% and 50% by 2100 and 1%-32% in equilibrium.

The main focus of the thesis is the provision of tools for assessing emission implications of climate targets. Comprehensive studies on the emission implications have been hindered so far by the absence of a flexible method to generate multi-gas emissions pathways, user-definable in shape and the climate target. The presented method “Equal Quantile Walk” (EQW) is intended to fill this gap, building upon and complementing existing multi-gas emission scenarios. The EQW method generates new mitigation pathways by ‘walking along equal quantile paths’ of the emission distributions derived from existing multi-gas IPCC baseline and stabilization emission scenarios. Sample EQW pathways are derived and the ability of the method to analyze emission implications in a probabilistic multi-gas framework is demonstrated. The probability of overshooting a 2°C climate target is derived for different sets of EQW radiative forcing peaking pathways. If the risk shall be limited to below 30%, it seems necessary to peak CO₂ equivalence concentrations around 475ppm and return to lower levels after peaking (below 400ppm; ~ 2W/m² radiative forcing).

In addition to the newly developed EQW method a set of multi-gas emission pathways is presented that builds on an alternative method: By extending previous work of various research groups, the newly created FAIR-SiMcaP model can design emission pathways that reflect the political framework and nation’s interest to meet emission allocation targets with cost-efficient mixes of greenhouse gases. A flexible approach is implemented to find such emission pathways, which meet user-defined targets, such as a limitation on warming or concentrations.

Finally, probabilities of overshooting a global mean temperature limit of 2°C above pre-industrial levels are presented as a brief synthesis of methods and results that were employed and developed throughout the thesis. Sensitivity studies were conducted with different timing of the onset of emission reductions for both EQW and FAIR-SiMcaP pathways. Results suggest that the next 5 to 15 years might determine whether the risk of overshooting 2°C can be limited to a reasonable range. A further delay might require subsequent emission reductions rates to be very steep and consequently very expensive.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Verhinderung gefährlichen Klimawandels ist ein erklärtes Ziel der internationalen Staatengemeinschaft. Eine Begrenzung der global mittleren Erwärmung wird oftmals als Richtschnur vorgeschlagen, z.B. auf maximal 2°C über vor-industriellen Werten. Um politische Massnahmen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen entwerfen und bewerten zu können, bedarf es einer Antwort auf die Frage: Wieviel Emissionen und welche Treibhausgaskonzentrationen sind gemäss unserer derzeitigen wissenschaftlichen Verständnis im Einklang mit langfristigen Klimazielen, wie z.B. höchstens 2°C Erwärmung? Diese Dissertation versucht einen Beitrag zur Beantwortung dieser Frage zu leisten.

Die Anwendung eines einfachen Klimamodells (MAGICC 4.1) in Kombination mit publizierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Klimasensitivität bildet die methodische Grundlage der folgenden Kapitel. Die Klimasensitivität ist allgemein definiert als die global mittlere Erwärmung im Gleichgewicht aufgrund einer Verdopplung der vor-industriellen CO₂ Konzentrationen und ist üblicherweise mit 1.5°C bis 4.5°C quantifiziert worden.

Die Arbeit basiert auf einer Analyse des derzeitig bereits verursachten Klimawandels. Nicht nur der bereits beobachtete Klimawandel, sondern auch die noch bevorstehende Erwärmung aufgrund historischer Emissionen ist hier von Interesse. Vier unterschiedliche Konzepte werden analysiert. Im ersten Fall wird angenommen, dass Treibhausgasemissionen auf dem derzeitigen Niveau fortgesetzt werden. Die Wahrscheinlichkeit 2°C Erwärmung langfristig in einem solchen Fall zu überschreiten ist sehr gross. Bis 2400 muss mit einer Erwärmung um 4.2°C gerechnet werden. Im zweiten Fall wird angenommen, dass heutige Treibhausgaskonzentrationen und das durch den Menschen verursachte Strahlungsungleichgewicht auf dem heutigen Niveau fortgesetzt werden. Dieser Fall impliziert ein gewisses Risiko 2°C zu überschreiten. Wenn das Strahlungsungleichgewicht jedoch weiter vergrössert wird, erhöht sich das Risiko substantiell. Der dritte Fall untersucht die Frage, wie sich globale Temperaturen entwickeln würden, falls alle menschlich verursachten Emissionen ab 2005 eingestellt würden. Ein Überschreiten von 2°C erscheint in diesem Fall höchst unwahrscheinlich (Median: 0.7°C Erwärmung bis 2100; 0.4°C bis 2400). Der für die Politik relevanteste Fall ist jedoch der vierte: Eine Reihe der publizierten Szenarien mit ambitionierteren Emissionsreduktionen werden analysiert, welche zu einer Stabilisierung der CO₂ äquivalenten Konzentrationen zwischen 350ppm und 450ppm führen. Die Wahrscheinlichkeit 2°C zu überschreiten kann unter Standardannahmen mit 10% bis 50% um das Jahr 2100 und 1% bis 32% im Gleichgewichtsstadium beziffert werden.

Das Hauptaugenmerk dieser Dissertation knüpft an die vorangegangene Analyse der Emissionsszenarien an und ist der Bereitstellung von flexiblen Methoden gewidmet, die es erlauben Multi-Gas Emissionspfade für verschiedene Konzentrations- oder Temperaturniveaus zu erstellen. Solche flexible Methoden könnten umfassende Studien erleichtern, die die Implikationen von Klimazielen auf notwendige Emissionsreduktionen untersuchen. Die entwickelte und vorgestellte Methode „Equal Quantile Walk“ (EQW) baut direkt auf bisherigen Emissionsszenarien und ihren Charakteristiken auf. Neue Emissionspfade werden generiert, indem man in der Verteilung von Emissionsniveaus bisheriger Szenarien entlang gleicher Quantile „läuft“. Einige EQW Emissionspfade werden hergeleitet und mit bestehenden Emissionspfaden verglichen. Die

Wahrscheinlichkeit 2°C zu überschreiten wird für zwei Familien von Emissionspfaden in Abhängigkeit der jeweils maximalen CO₂ äquivalenten Konzentrationen hergeleitet. Falls das Risiko, dass die globale Erwärmung 2°C übersteigt, unter 30% gehalten werden soll, darf die maximale CO₂ Äquivalenz Konzentration 475ppm nicht überschreiten und muss langfristig auf unter 400ppm limitiert werden.

Als Ergänzung zur neu entwickelten EQW-Methode wurde eine bereits verbreitete Technik weiterentwickelt um Emissionszenarien für verschiedene Klimaziele herzuleiten: Das neu entwickelte FAIR-SiMcaP Modell kombiniert ein Optimierungsalgorithmus, das einfache Klimamodell MAGICC und das FAIR Modul. Letzteres ermöglicht eine regionale Differenzierung von globalen Emissionspfaden aufgrund von spezifischen Gerechtigkeits- und Fairness-kriterien. Im Unterschied zur EQW Methode werden die individuellen Gase mit einer spezifischen ökonomischen Optimierung hergeleitet. Das FAIR-SiMcaP Modell basiert auf sogenannten „Global Warming Potentials“ als ‚Tauschwährung‘ zwischen den verschiedenen Treibhausgasen, und der Annahme, dass einzelne Regionen Ihre Kosten für ein bestimmtes Emissionsziel zu minimieren versuchen. Daher kann der Effekt der gegenwärtigen internationalen Klimaschutz-Abkommen auf die Emissionsreduktionen verschiedener Gase relativ gut wiedergeben werden.

Schliesslich werden in einer kurzen Synthese nochmals die verschiedene Methoden und Resultate vorangegangener Kapitel zusammengefasst anhand der Fragestellung: was ist die Wahrscheinlichkeit für verschiedene Konzentrationsniveaus 2°C zu überschreiten? Sensitivitätsanalysen mit EQW und FAIR-SiMcaP Emissionspfaden deuten darauf hin, dass die nächsten 5 bis 15 Jahre entscheidend sind, ob das 2°C Klimaziel mit relativ grosser Wahrscheinlichkeit eingehalten werden kann. Eine weitere Verzögerung von Emissionsreduktionen könnte zur Folge haben, dass anschliessend notwendige Emissionsreduktionen so stark ausfallen müssten, dass sie wegen den damit verbundenen ökonomischen Kosten als (politisch) kaum durchsetzbar einzuschätzen sind.